



Podstawy Telekomunikacji

laboratorium

Ćwiczenie 3

Pomiar BER w kanale AWGN ze zniekształceniami nieliniowymi

Ćwiczenie nr. 3 Pomiar BER w kanale AWGN ze zniekształceniami nieliniowymi

W ramach ćwiczenia laboratoryjnego wykonane zostaną symulacje systemu OFDM w kanale nieliniowym z addytywnym szumem gaussowskim.

Transmisja wieloczęstotliwościowa – OFDM

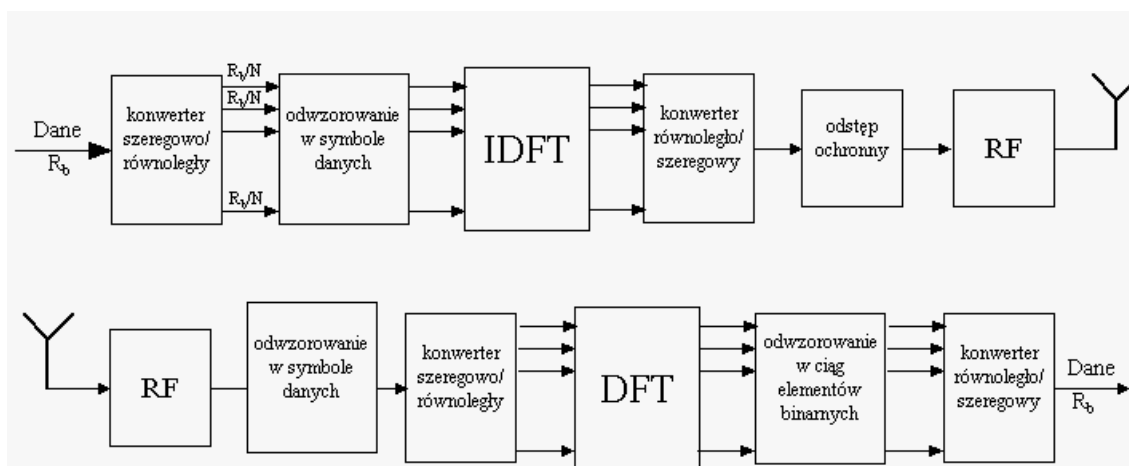
OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) jest rodzajem transmisji wieloczęstotliwościowej (wielotonowej), w której strumień danych o dużej przepływności przesyłany jest z wykorzystaniem wielu sygnałów nośnych o małych przepływnościach. Modułacje wielotonowe posiadają wiele zalet, które czynią je atrakcyjnymi do szybkiej transmisji danych w kanałach bezprzewodowych.

Po raz pierwszy transmisja wielotonowa użyta była w systemach wojskowych (KINEPLEX i KATHRYN) na początku lat 60-tych. Stosowanie OFDM na szerszą skalę stało się możliwe wraz z rozwojem technologii (układy VLSI), dzięki której możliwa jest realizacja modulatorów i demodulatorów systemu wielotonowego dużej przepływności w oparciu o algorytmy szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Transmisja OFDM znalazła zastosowanie w systemach szybkiej transmisji danych w przyłączach abonenckich ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Loop*) i VDSL (*Very High-Speed Digital Subscriber Loop*), w systemach cyfrowego przekazu sygnałów audio DAB (*Digital Audio Broadcasting*) oraz video DVB-T

(*Digital Video Broadcasting for Terrestrial*). Technika OFDM wykorzystywana jest również w bezprzewodowych sieciach lokalnych (standardy IEEE 802.11a oraz IEEE 803.11g) o przepływnościach do 54Mbit/s. Rozważana jest możliwość wykorzystania OFDM w systemach komórkowych 4G.

Obok takich zalet jak wysoka efektywność widmowa i odporność na zakłócenia powodowane przez interferencje międzysymbolową transmisja OFDM ma również wady, które ograniczają obszar jej zastosowań. Podstawową wadą jest wrażliwość na zniekształcenia nieliniowe co uniemożliwia zastosowanie modulacji wielotonowej w kanałach wymagających płaskiej obwiedni sygnału (np. kanał satelitarny).

W odróżnieniu od standardowego systemu wykorzystującego pojedynczy sygnał nośny w transmisji



wielotonowej dostępne pasmo podzielone jest na wiele wąskich pasm (podkanałów) w których równoległe przesyłane są strumienie danych o małych przepływnościach. OFDM jest rodzajem transmisji wielotonowej, w której sygnały nośnych są wzajemnie ortogonalne. Warunek ten będzie spełniony jeśli odstęp między nośnymi wynosi $\Delta f = 1/T$, gdzie T jest odstępem jednostkowym modulacji.

Dla m -tego odstepu jednostkowego modulacji sygnał OFDM można opisać wzorem:

$$s_m(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} D_{m,n} g_n(t - mT) \quad (1)$$

gdzie: N jest liczbą nośnych, $D_{m,n}$ reprezentuje zespolony sygnał danych modulujący n -tą nośną w m -tym odstepie modulacji

$g_n(t)$ definiuje kształt impulsu w paśmie podstawowym :

$$g_n(t) = \begin{cases} \exp(j2\pi n\Delta ft) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{inaczej} \end{cases} \quad (2)$$

Wyjściowy, sumaryczny sygnał OFDM określa wzór:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} D_{m,n} g_n(t - mT) \quad (3)$$

Transmisja wieloczęstotliwościowa posiada wiele zalet powodujących, że obszar jej zastosowań stale się poszerza. Systemy wielotonowe charakteryzują się wysoką efektywnością wykorzystania pasma. W przypadku modulacji OFDM widma sygnałów poszczególnych nośnych zachodzą na siebie, dzięki czemu efektywność widmowa wyrażona w $bit/s/Hz$ jest większa niż w systemie ze standardową multipleksacją częstotliwości.

Zastosowanie równoległej modulacji na wielu nośnych powoduje, że odstęp jednostkowy modulacji wydłuża się N razy w porównaniu z systemem wykorzystującym pojedynczy sygnał nośny. Umożliwia to znaczną redukcję zakłóceń powodowanych przez interferencję międzysymbolową ISI (*InterSymbol Interference*) w stopniu zależnym od stosunku długości odstepu jednostkowego modulacji do czasu trwania odpowiedzi kanału. Dobór odpowiedniej wartości N oraz dodanie odstepu ochronnego do transmitowanych symboli umożliwi redukcję ISI do zera. Ta cecha transmisji wielotonowej czyni ją szczególnie atrakcyjną w kanałach, gdzie występuje zjawisko wielodrogowości sygnału. (systemy bezprzewodowe z terminalami ruchomymi).

Systemy wielotonowe cechuje duża elastyczność, sygnały poszczególnych nośnych mogą być tworzone z wykorzystaniem różnych schematów modulacyjnych (od BPSK do wielowartościowej modulacji QAM). Ponadto poziomy sygnałów nośnych (generowane moce) mogą znacznie się między sobą różnić, co biorąc pod uwagę charakterystykę kanału transmisyjnego umożliwia optymalizację systemu pod kątem maksymalnej przepływności binarnej. Odpowiedni podział generowanej mocy między poszczególne nośne możliwy jest pod warunkiem istnienia kanału zwrotnego między nadajnikiem a odbiornikiem.

Zaletą OFDM jest również stosunkowo prosta realizacja praktyczna wykorzystująca algorytmy szybkiej transformaty Fouriera (IFFT).

Obok wymienionych wyżej zalet transmisja wieloczęstotliwościowa posiada również wady do których należy np. wrażliwość na zaniki selektywne. Sygnał danych na nośnych silnie wytłumionych charakteryzuje się dużą stopą błędów a zastosowanie standardowych metod korekcji kanału transmisyjnego nie zdaje egzaminu w przypadku systemu OFDM. Dobrym rozwiązaniem jest odpowiednia alokacja mocy i wartościowości modulacji między nośne w zależności od stopnia ich wytłumienia. Jest to skomplikowane rozwiązanie wymagające istnienia kanału zwrotnego. Innym wyjściem jest zastosowanie nadmiarowego kodowania korekcyjnego.

System OFDM wymaga precyzyjnej synchronizacji. Duże wartości częstotliwości nośnych, występowanie efektu Dopplera powodują, że koniecznym jest stosowanie odpowiednich procedur (sekwencje treningowe, sygnały pilotowe) zapewniających utrzymanie synchronizacji z wymaganą dokładnością.

Sygnal wielotonowy jest czuły na zniekształcenia nieliniowe wprowadzane przez kanał transmisyjny. Duża dynamika zmian amplitudy nadawanego sygnału utrudnia lub wręcz uniemożliwia zastosowanie transmisji wieloczęstotliwościowej w tego typu kanałach.

Wymagana jest wtedy płaska obwiednia sygnału (modulacja BPSK lub QPSK na pojedynczej nośnej). Głównym źródłem nieliniowości są wzmacniacze dużej mocy (np. szerokopasmowy wzmacniacz mocy na satelicie). Nieliniowość charakterystyki przenoszenia wzmacniacza jest źródłem zniekształceń amplitudowych i fazowych sygnału, powoduje powstawanie szkodliwych produktów intermodulacji przy pracy z wieloma nośnymi co poszerza widmo sygnału i jest przyczyną interferencji międzykanałowej.

Dynamikę zmian poziomu sygnału OFDM określa współczynnik wartości mocy szczytowej do mocy średniej PAPR (*Peak to Average Power Ratio*).

$$PAPR = 10 \log \frac{P_{max}}{P_{sr}} \quad [dB] \quad (4)$$

gdzie: P_{max} oznacza szczytową wartość mocy dla pojedynczego symbolu, a P_{sr} jest mocą średnią sygnału wielotonowego. Współczynnik PAPR rośnie ze zwiększaniem liczby nośnych N i maksymalnie może wynieść $10 \log N$.

Symulacja systemu OFDM w kanale nieliniowym

Oprogramowanie symulacyjne umożliwia pomiar elementowej stopy błędów BER (Bit Error Rate) w funkcji E_b/N_o (energia na bit/moc szumu na 1 Hz pasma).

W skład symulowanego systemu wchodzi: generator danych binarnych, nadajnik OFDM, kanał transmisyjny, odbiornik OFDM, miernik stopy błędów.

Generator danych

generacja sekwencji pseudolosowej o zadanej przez użytkownika długości

Nadajnik OFDM

generacja sygnału OFDM w oparciu o algorytmy IFFT, użytkownik ma możliwość określenia liczby nośnych (1, 2, 4, 8 ...256) oraz rodzaju modulacji (BPSK, 4PSK, 8PSK lub 16QAM)

Kanał transmisyjny

źródła zakłóceń:

- addytywny szum gaussowski AWGN (Additive White Gaussian Noise). Użytkownik ma możliwość zmiany poziomu szumów i w konsekwencji stosunku sygnał /szum określonego przez E_b/N_o [dB].
- zniekształcenia nieliniowe powodowane przez wzmacniacz dużej mocy. Poziom wprowadzanych zniekształceń (amplitudowo-fazowych) zależy od punktu pracy wzmacniacza. Im bliżej znajdujemy się od nasycenia tym jest on wyższy. Punkt pracy wzmacniacza określony jest przez wartość IBO (Input Back-Off). IBO jest różnicą między poziomem mocy sygnału na wejściu wzmacniacza a poziomem mocy powodującym nasycenie wzmacniacza. Wartość IBO może być zmieniana przez użytkownika.

Przykładem tego typu kanału jest kanał satelitarny, zniekształcenia nieliniowe powodowane są przez wzmacniacz dużej mocy znajdujący się na pokładzie satelity.

Odbiornik OFDM

demodulacja sygnału realizowana jest z wykorzystaniem algorytmów FFT.

Przebieg ćwiczenia

1. Symulacja systemu OFDM w kanale nieliniowym z addytywnym szumem gaussowskim.

Zmierzyć i wykreślić charakterystyki (8) BER w funkcji E_b/N_0 [dB] dla następujących parametrów:

liczba nośnych: 1 i 256

modulacja: 4PSK i 16QAM

IBO: wartości zostaną podane przez prowadzącego

Symulacje przeprowadzić tak (o ile to możliwe) aby co najmniej jeden punkt pomiarowy przypadł dla wartości BER mniejszej niż 10^{-5} .

Skomentować wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych symulacji i pomiarów